Dr hab. inż. Andrzej Lewiński, prof. nadzw. Pol. Rad.,
Dr inż. Tomasz Perzyński
Politechnika Radomska
Mgr inż. Andrzej Toruń
Instytut Kolejnictwa

TENDENCJE ROZWOJOWE SYSTEMÓW SRK W CIĄGU OSTATNICH LAT

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Przekaźnikowe systemy srk
3. Charakterystyka systemów srk pod kątem wprowadzania nowych technologii komputerowych
4. Systemy przyszłościowe wykorzystujące transmisje otwartą
5. Wnioski

STRESZCZENIE

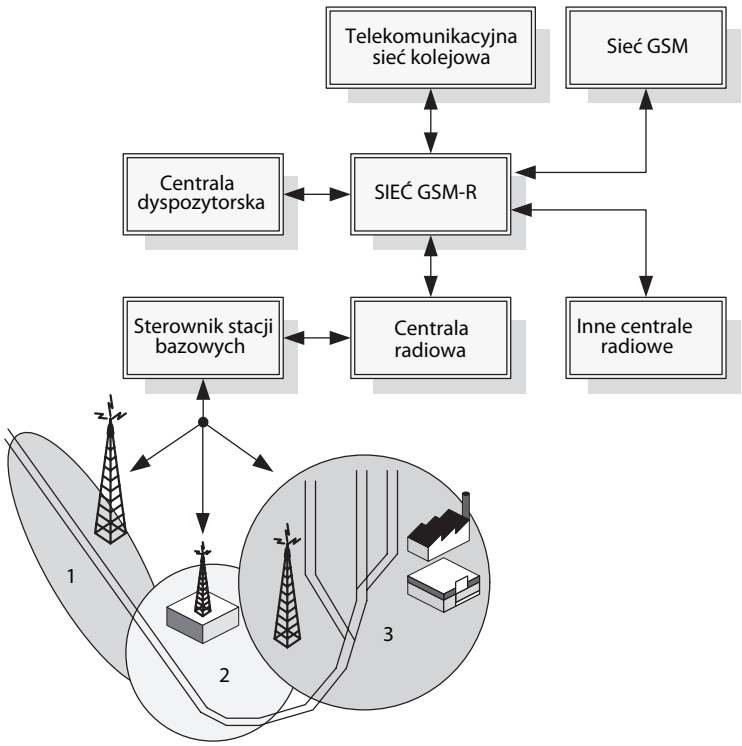
W artykule przedstawiono systemy srk eksploatowane w kolejnictwie polskim oraz zasady zapewnienia ich bezpieczeństwa. Przedstawiono również systemy przekaźnikowe oraz systemy komputerowe realizowane w postaci nadmiarowych konfiguracji sterowników, komunikujących się poprzez zamknięte sieci teleinformacyjne. Pokazano tendencje rozwojowe wykorzystujące otwarte (publiczne) systemy transmisji bezprzewodowej. Artykuł odwołuje się do norm obowiązujących przy wdrażaniu przedstawionych systemów oraz wniosków z ich eksploatacji.

1. WSTĘP

Znaczącym krokiem w rozwoju urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów było zastosowanie urządzeń elektrycznych (przekaźnikowych), których konstruowanie i wdrażanie rozpoczęto już w latach czterdziestych XX wieku. Było ono poprzedzone fazą wdrożenia urządzeń hybrydowych (mechaniczno-elektrycznych), tj. urządzeń suwakowych z sygnalizacją świetlną [1, 3]. Współczesne systemy sterowania ruchem kolejowym w transporcie są systemami komputerowymi, komunikującymi się za pomocą standardów kablowych i bezprzewodowych. Dobrym tego przykładem jest system ERTMS

(*ang. European Rail Traffic Management System*), łączący w sobie dotychczasowe systemy sterowania nadrzędnego i scentralizowanego sterowania zależnościowego oraz systemy automatycznego prowadzenia pociągu (ATP/ATC) z wymaganiami interoperacyjności, realizowanymi między innymi przez bezprzewodowe struktury GSM-R *(ang. Global System for Mobile Communications - Railways)*. Kolejowy człon sieciowy stacji GSM-R (rys. 1) ma dodatkową bazę danych, związaną z adresowaniem funkcyjnym, oraz bardziej rozbudowane bazy połączeń grupowych i efektywne algorytmy zestawiania połączeń wysoko-priorytetowych z czasami poniżej 1 sekundy.

Połączenia pomiędzy kolejowymi centralami radiowymi są realizowane przez kolejową sieć teletransmisyjną. W przypadku wykorzystania w procesie sterowania standardu GSM-R do sterowania ruchem kolejowym, istnieje możliwość zestawienia dwóch kanałów transmisji (kanał rozmowy i kanał transmisji danych), co ma istotny wpływ na bezpieczeństwo transmisji. Na rysunku 1 pokazano również trzy typy komórek pokrycia przestrzennego przez system GSM-R: obsługujące tylko linie kolejowe (1), obsługujące linie kolejowe i tereny stacyjne (2), obsługujące inne tereny kolejowe (3).



Rys. 1. Typowa struktura GSM-R

Sieć radiowa składa się z radiowych kolejowych obszarów komórkowych. Rozproszone systemy kolejowe pracują w oparciu o standardy sieciowe, takie jak: WAN (PRO-

FIBUS) czy LAN (Ethernet, RS232). Profibus (*Process Field Bus*) jest siecią przeznaczoną do wykorzystania w rozproszonych systemach sterowania oraz nadzoru, jak również siecią odporną na zakłócenia, pracującą w standardzie EN 50170. Sieci komputerowe stosowane w systemach srk są realizowane jako zamknięte lub otwarte, a sposób transmisji w obu przypadkach regulują odpowiednie normy PN-EN 50159: 2010.

Systemy stosowane w transporcie kolejowym należą do grupy nowoczesnych, wielokomputerowych systemów rozproszonych, opartych na technologiach sieciowych i mających związek z decentralizacją sterowania. W układach tych mamy do czynienia ze współpracą systemu dyspozytorskiego i zcentralizowanego, systemu zależnościowego z małymi systemami stacyjnymi, systemami sygnalizacji przejazdowej i blokady liniowej, a także z systemami automatycznego prowadzenia pociągu. Systemy takie, z punktu widzenia bezpieczeństwa i niezawodności, są realizowane przez tworzenie specjalnych struktur.

Kolejnym etapem jest wprowadzenie do systemów sterowania ruchem kolejowym systemów z transmisją otwartą, opartą na sieciach publicznych, przeważnie bezprzewodowych. Istotnym problemem jest w tych rozwiązaniach zapewnienie odpowiedniego bezpieczeństwa transmisji.

W artykule przedstawiono także sposoby zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa dla systemów srk, przy wprowadzaniu nowych technologii informacyjnych.

2. PRZEKAŹNIKOWE SYSTEMY SRK

Przekaźnikowe systemy srk były projektowane jako systemy bezpieczne, oparte na regule *fail-safe* – żadne pojedyncze uszkodzenie nie może prowadzić do błędnego wysterowania urządzeń zewnętrznych (sygnalizatora, zwrotnicy). Oznacza to, iż w przypadku przekaźnikowych urządzeń srk pojedyncze uszkodzenie musi wymuszać zmianę stanu systemu na taki, który zdefiniowany jest jako stan bezpieczny (np. uniemożliwienie wyświetlenia sygnału zezwalającego, wykluczenie możliwości nastawienia przebiegu, przestawienia zwrotnicy). Osiągnięcie stanu bezpiecznego powoduje określone ograniczenia w dostępności systemu do sterowania lecz nie powoduje sytuacji zagrożenia w ruchu kolejowym. Podstawowe bezpieczeństwo obwodów elektrycznych jest osiągane przez:

- zastosowanie odpowiednich elementów konstrukcyjnych obwodów, tj. przekaźniki zabezpieczeniowe określonej klasy, transformatory, przekładniki prądowe, dławiki, bezpieczniki,
- odpowiednie ukształtowanie obwodu elektrycznego, zgodnie z opracowanymi przez uprawnione jednostki kolejowe albumami typowych układów dla poszczególnych systemów zabezpieczenia ruchu kolejowego.

Ze względu na sposób projektowania i montażu urządzenia przekaźników, urządzenia sterowania ruchem kolejowym sklasyfikowano na dwie podstawowe grupy:

- urządzenia projektowane indywidualnie (np. stacyjne typu E), dla których były wykorzystywane zasady projektowania oparte na albumach schematów typowych, a zasady

bezpiecznego prowadzenia ruchu były zdefiniowane w zależności od układu torowego i charakterystyki ruchowej obiektu (stacji) w postaci tablicy zależności lub kart przebiegów,
- urządzenia geograficzne – zblokowane (budowane w strukturze modułowej, tj. JZH 111, CBP83, SUP-3, SUP-3M), definiowane jako graf powiązania typowych modułów funkcjonalnych.

Zasada *fail-safe* jako nadrzędne wymaganie bezpieczeństwa, sprowadzała się do wykrycia usterki krytycznej i bezpiecznej reakcji systemu na wykrytą usterkę. W praktyce zdefiniowano zarówno zasady bezpiecznego projektowania, jak i sklasyfikowano usterki w zależności od ich wpływu na bezpieczeństwo działania systemów:
- usterki niekrytyczne (bezpieczne), które powodują ograniczenie funkcjonalności systemu, powodując zakłócenia w ruchu pociągów, ale bez możliwości spowodowania kolizji pociągów,
- usterki krytyczne – (niebezpieczne), które wprowadzają bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa i mogą prowadzić do powstania sytuacji niebezpiecznej – kolizji.

Dodatkowo wprowadzono też pojęcie zakłócenia operacyjnego, stanu niebędącego usterką, a wynikiem normalnego zdarzenia w trakcie pracy eksploatacyjnej (np. przepalenie żarówki sygnalizatora).

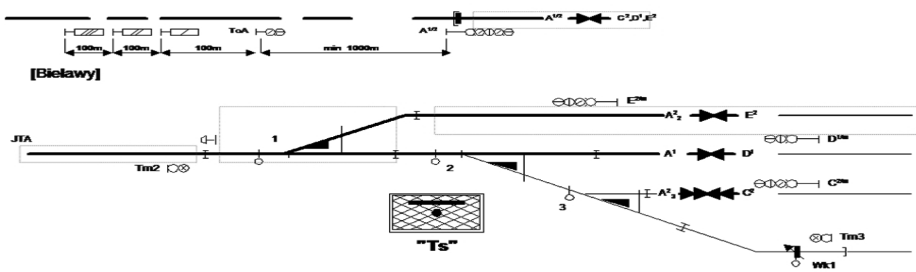
W praktyce realizacja zasady *fail-safe* opiera się na omówionym wcześniej stosowaniu odpowiednich elementów – przekaźników klasy I (N), gdzie wykorzystuje się ich właściwość asymetryczności uszkodzeń, polegającą na przyjęciu założenia, iż jako prawdopodobne przyjmujemy zdarzenie niewzbudzenia się przekaźnika (przy zamknięciu obwodu wzbudzenia) na skutek, np. przerwy w obwodzie cewki przekaźnika oraz jako nieprawdopodobne ze względów konstrukcyjnych wystąpienie przypadku pozostania przekaźnika w stanie wzbudzonym po zaniku zasilania uzwojenia cewki tego przekaźnika. W przypadku przekaźników klasy II (C), jako prawdopodobne przyjmuje się wystąpienie obu wyżej opisanych zjawisk (uszkodzeń, np. pozostanie w stanie wzbudzonym na skutek sklejenia styków).

2.1. System przebiegowy na przykładzie urządzeń przekaźnikowych typu E

Połączenia poszczególnych obwodów systemu typu E stanowią odwzorowanie układu torowego stacji i są montowane bezpośrednio w terenie (na stacji) dla każdego zdefiniowanego przebiegu w sposób indywidualny. Praktycznie w systemie typu E wyróżniamy cztery podstawowe typy obwodów elektrycznych: nastawcze, sygnałowe, obwody utwierdzenia i zwolnienia przebiegów, obwody świateł.

Na rysunku 2 przedstawiono fragment przykładowego układu torowego stacji wraz z przykładowymi zapisami zależności zamieszczonymi w Tablicy Zależności. System ten charakteryzuje się dość ograniczonym, ale wystarczającym do prowadzenia ruchu na

stacji, zestawem realizowanych funkcji i podstawowo zapewnia możliwość indywidualnego sterowania poszczególnymi obiektami, tj. zwrotnicą, wykolejnicą, sygnalizatorem. Oznacza to w praktyce indywidualne wybieranie i nastawianie dróg przebiegów, przy jednoczesnej kontroli elementów tych dróg przebiegów (niezajętości odcinków izolowanych torów i zwrotnic, położenia zwrotnic i wykolejnic, stanów sygnalizatorów). W celu zapewnienia bezpieczeństwa prowadzenia ruchu na posterunku, dodatkowo oprócz kontroli stanu elementów dróg przebiegów, system na podstawie indywidualnie projektowanej dla każdego posterunku tablicy zależności, wyklucza przebiegi sprzeczne oraz kontroluje warunki bezpiecznego nastawiania i zwalniania dróg przebiegów.



Lp	Przebieg	Opis przebiegu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Odcinki izolowane	
			Przebiegi pociągowe															Przebiegi manewrowe																			Zwrotnice i wykolejnice										
			A^2_3	A^1_1	A^2_2		C	D	E		S^2_3	S^2_1	S^1_2		M^2_1	L^1_1	K^2_1		Tm3	C=	D=	E=		Tm2 5	3	1	2		Tm11	M=	L=	K=	Tm13 5	3	1	2		1	2	3/ms	10/ms	11	12/13	14/15		Torowe	Zwrotnicowe
1	A^2_3	Zesl. Bielawy na tor 3	−	+	+		+	+	+		+								+	+	+	+		+	+	+	+			+				+				+	−	+						A,3	1,2,3/ms
2	A^1_1	Zesl. Bielawy na tor 1	+	−	+		+	+	+			+							+	+	+	+		+	+	+	+				+				+			+	+	+	+					A,1	1,2
3	A^2_2	Zesl. Bielawy na tor 2	+	+	−		+	+	+				+						+	+	+	+		+	+	+	+					+				+		−								A,2	1

Rys. 2. Przykładowy układ torowy stacji wraz z tablicą zależności

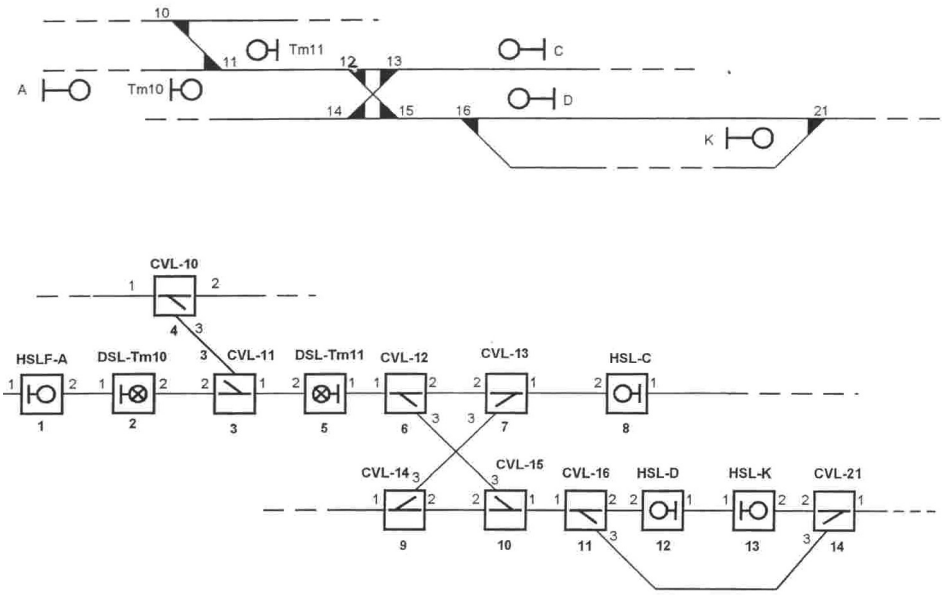
Ze względu na sposób projektowania obwodów (indywidualnie dla każdego obiektu) mimo braku ograniczeń formalnych co do wielkości stacji (liczba zwrotnic, przebiegów, sygnałów), w praktyce okazało się, że system ten najlepiej sprawdza się w przypadku stacji małej i średniej wielkości, ponieważ dla dużych stacji jest kłopotliwe odpowiednie zaprojektowanie obwodów tak, aby było możliwe osiągnięcie optymalnych wskaźników eksploatacyjno-ruchowych dla stacji (głównie w przypadku definiowania wykluczeń przebiegów sprzecznych).

2.2. System zblokowany (geograficzny) na przykładzie urządzeń przekaźnikowych JZH 111

System przekaźnikowych urządzeń zblokowanych JZH 111, wyróżnia się w swojej budowie zastosowaniem określonych bloków przekaźnikowych (powtarzalnych) odpowiadających za obsługę i sterowanie jednego określonego typu urządzenia na stacji (zwrotnicy, sygnalizatora) wykonanych w formie zamkniętego, uniwersalnego i powtarzalnego, wieloprzekaźnikowego modułu montowanego w fabryce.

Poszczególne moduły są łączone między sobą odpowiednimi ścieżkami logicznymi, jak np.: ścieżki wybierania elementów drogi przebiegu, kontroli dostępu do modułu,

poszukiwania ochrony bocznej, nastawiania elementów drogi przebiegu, utwierdzania modułów, kontroli prędkości (obrazu sygnałowego), przekaźników sygnałowych, automatycznego zwalniania przebiegu, doraźnego zwalniania przebiegu. Przykładowy sposób powiązania modułów systemu JZH 111 przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Przykładowy sposób powiązania modułów systemu JZH 111

2.3. Ocena systemów przekaźnikowych

W praktyce na stacjach eksploatowanych przez PKP PLK S.A. można spotkać wiele systemów przekaźnikowych srk, zarówno wykonanych w technice przebiegowej (urządzenia typu E, PB), jak i zblokowanej (JZH 111, SUP-3, OSA-H), które coraz częściej są dostosowywane do współpracy z komputerowymi pulpitami nastawczymi oraz podlegają centralizacji sterowania w ramach budowy lokalnych centrów sterowania. Świadczy to o tym, że te urządzenia spełniają zakładane funkcje ruchowe, ponadto jak wykazały doświadczenia ponad 50 lat eksploatowania urządzeń przekaźnikowych na sieci PKP, charakteryzują się one dużą trwałością i niezawodnością oraz gwarantują wymagany poziom bezpieczeństwa technicznego, pod warunkiem zachowania zasad ich utrzymania i eksploatacji. W miarę upływu czasu, coraz trudniejsze staje się zapewnienie właściwych elementów niezbędnych do ich bezpiecznej eksploatacji (tj. przekaźników, których produkcja jest kosztowna ze względu na konieczność utrzymywania drogiej technologii oraz spadające zapotrzebowanie na rynku).

3. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW SRK POD KĄTEM WPROWADZANIA NOWYCH TECHNOLOGII KOMPUTEROWYCH

Komputerowe systemy srk również opierały się na zasadzie *fail-safe*. Ponieważ uszkodzenie komputerów (0→1, 1→0) było jednakowo prawdopodobne, bezpieczne konfiguracje opierały się na redundancji (układy 2z2, 2z3).

W związku z wejściem Polski do struktur unijnych obowiązujące stały się normy oznaczone odpowiednio: **PN-EN 50126** [14], **PN-EN 50128** [15] oraz **PN-EN 50129** [16]**.** W normie **PN-EN 50126** określono niezawodność, gotowość, dostępność i bezpieczeństwo (RAMS – *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*), jako proces oparty na cyklu życia systemu (ang. *system life-cycle*). W tym procesie zdefiniowano poszczególne etapy systemu i procedury związane z zatwierdzaniem przed przejściem do następnego etapu (specyfikacja wymagań, projekt., implementacja itp.).

Norma **PN-EN 50128** określa procedury i wymagania techniczne dla projektowania oprogramowania bezpiecznego systemu elektronicznego dla sterowania i zabezpieczenia na kolei [8]. Należy stwierdzić, iż norma ta nie jest w pełni obligatoryjna.

Norma **PN-EN 50129** definiuje wymagania dotyczące projektowania, testowania, odbioru i zatwierdzania elektronicznych systemów, podsystemów i urządzeń sygnalizacji związanych z bezpieczeństwem w zastosowaniach kolejowych [16].

Koncepcja bezpiecznych systemów komputerowych stosowanych w kolejnictwie zakłada bardzo małą intensywność usterek, co przy całkowitej niezależności kanałów przetwarzania (2 lub 3) gwarantuje znikome prawdopodobieństwo wystąpienia usterki podwójnej lub wielokrotnej – decydującej o uszkodzeniu katastroficznym (krytycznym). Podstawą analizy jest akceptowalny, dopuszczalny poziom ryzyka.

Zgodnie z normą [16] bezpieczeństwo systemu zależy nie tylko od intensywności uszkodzeń, ale od czasu detekcji uszkodzeń pojedynczych i podwójnych (wielokrotnych). W tym celu wprowadzono współczynnik tolerowalnego poziomu uszkodzeń (*THR – Tolerable Hazard Rate*). Współczynnik ten można obliczyć z zależności:

$$THR = \prod_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i}{t_{d_i}^{-1}} \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{d_i}^{-1} \tag{1}$$

gdzie: λ_i – intensywność uszkodzeń dla kanału i, $t_{d_i}^{-1}$ – czas reakcji systemu na błąd od czasu powstania dla kanału *i*.

Uwzględniając takie parametry jak: czas reakcji systemu na błąd od czasu wykrycia, czas reakcji systemu na błąd od czasu powstania, czas cyklicznego testowania elementu systemu, średnie czasy T_{MBF} składowych systemu, można wyznaczyć współczynnik *THR*. Dopuszczalne wartości współczynnika *THR* dla poziomów bezpieczeństwa SIL przedstawia tablica 1 [16].

Tablica 1

Dopuszczalne wartości *THR* [10]

THR (na godzinę na funkcję)	***SIL*** (*Safety Integrity Level*)
$10^{-9} \leq THR < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq THR < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq THR < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq THR < 10^{-5}$	1

Z bezpieczeństwem systemów srk zakwalifikowanych do poziomu SIL-4 wiąże się również czas diagnostyki usterek pojedynczych:

$$T_{sf} = \frac{k}{1000 \cdot \lambda}, \tag{2}$$

oraz usterek podwójnych:

$$T_{2sf} = \frac{2}{\lambda}, \tag{3}$$

gdzie: k – współczynnik nadmiarowości równy 1 dla systemów „2z2" i 0.5 dla systemów „2z3", λ – suma średnich intensywności uszkodzeń elementów, których jednoczesne uszkodzenie może prowadzić do zagrożenia.

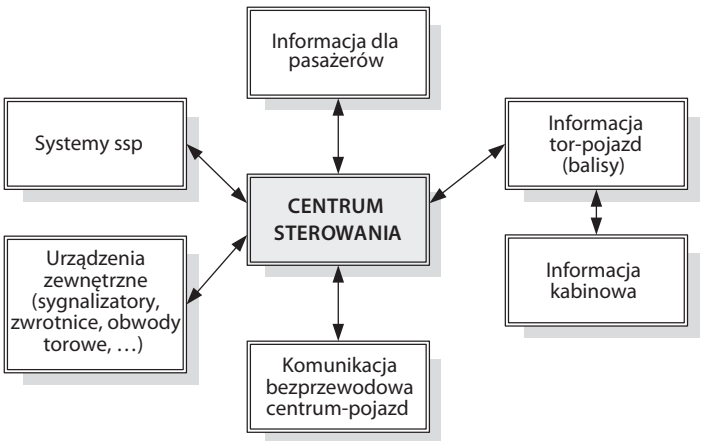
3.1. Systemy nadrzędne

System nadrzędny jest to zbiór odpowiednio skonfigurowanych i oprogramowanych urządzeń wspomagających pracę dyspozytora i wykonujących funkcje niezbędne dla właściwej kontroli dyspozytorskiej, przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymagań formalnych i technicznych stawianych tego typu systemom. Oprócz funkcji śledzenia i kierowania ruchem, system ten ma za zadanie także wykrywanie konfliktów, a w razie potrzeby korekcję ruchu. Integracja systemów na poziomie centrum sterowania pozwala na wykonanie, analizę, podgląd i przesył wszelkich informacji oraz realizację zadań związanych ze sterowaniem i nadzorowaniem ruchu (rys. 4).

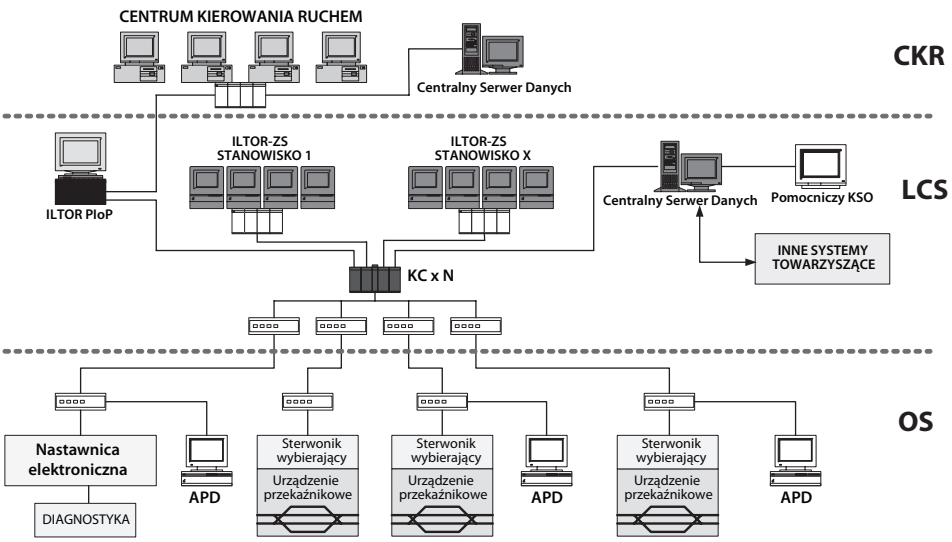
Przykładem współczesnego systemu nadrzędnego jest ILTOR-2 (produkcji firmy KONTRON). Jest to system nadrzędny, pracujący bezpośrednio z systemami nastawnic elektronicznych różnych producentów, dopuszczonymi do eksploatacji na sieci PKP PLK S.A., tj. SIMIS-W, MOR-3, WT UZ, WT UZm oraz z dowolnym typem urządzeń elektrycznych przekaźnikowych po zastosowaniu odpowiedniego interfejsu powiązania.

System ILTOR-2 jest wielofunkcyjnym systemem komputerowym stworzonym do kompleksowego sterowania i nadzorowania ruchem kolejowym na odcinkach obejmujących wiele posterunków ruchu. ILTOR-2 działa w czasie rzeczywistym. W celu zwiększenia

niezawodności, zastosowano konfigurację sprzętową i oprogramowanie pozwalające na zapewnienie dostępności systemu w przypadku uszkodzenia niektórych komputerów. ILTOR-2 jest komputerowym systemem rozproszonym o budowie modułowej. Większość modułów systemu ILTOR-2 może pracować samodzielnie. Do systemu ILTOR-2 wchodzą następujące podsystemy: ILTOR-ZS (zdalne i miejscowe sterowanie ruchem kolejowym), ILTOR-KR (kierowanie ruchem), ILTOR-DIAG (system diagnostyczny). Na rysunku 5 przedstawiono strukturę warstwową systemu ILTOR-2. składającą się z trzech warstw: Centrum Kierowania Ruchem (CKR), Lokalne Centrum Sterowania (LCS), Obiekty Sterowane (OS).



Rys. 4. Integracja systemów sterowania na poziomie centrum sterowania



Rys. 5. ILTOR-2 - struktura warstwowa systemu ILTOR-2

System ten może być stosowany zarówno w wersji przeznaczonej do zainstalowania na pojedynczym posterunku ruchu, jak również jako system obsługujący wiele posterunków ruchu na odcinku linii kolejowej. System ILTOR-2został tak skonstruowany, aby każdorazowa konfiguracja systemu, lokalizacja poszczególnych urządzeń oraz połączenia między nimi mogły być projektowane indywidualnie. Komputery w systemie połączone są siecią komputerową wykonaną w standardzie ETHERNET, posiadają też unikalny adres sieciowy TCP/IP. W przypadku komputera centralnego, pracuje on w konfiguracji gorącej rezerwy (w postaci komputera centralnego rezerwowego). Obydwa komputery mają taką samą konfigurację. Urządzenia sieciowe mają odpowiednią sygnalizację w celu diagnozowania stanu działania. Dodatkowo w skład systemu ILTOR-2 wchodzi wiele odpowiednio dobranych monitorów informujących o aktualnym stanie sterowania oraz o powstałych uszkodzeniach.

W warunkach kolei polskich eksploatuje się wiele systemów nadrzędnych klasy ksr (kierowanie i sterowanie ruchem) różnych dostawców, wymienić tu należy, m.in. system EBI Screen 3.0, EBI Screen 300, WSKR (produkcji BT ZWUS z Katowic) czy MOR-2zs, MOR-2lcsr (produkcji Z.A. KOMBUD z Radomia).

3.2. Systemy scentralizowane

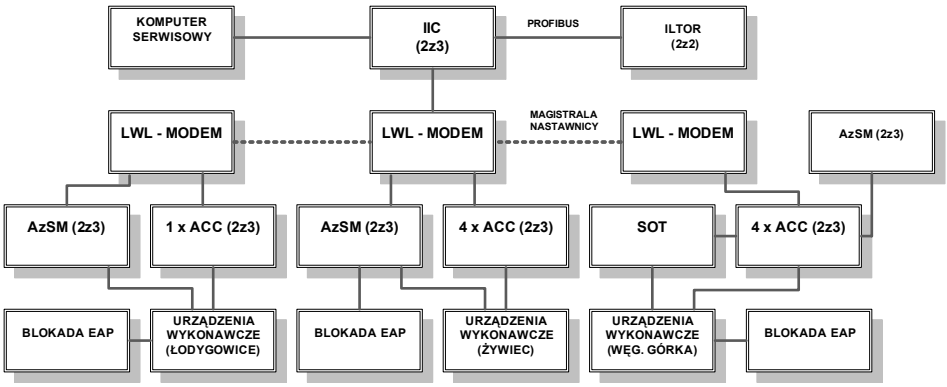
Systemy scentralizowane stanowią *n*-kanałową (przeważnie 2. lub 3.) strukturę wielomodułową o odpowiednio dobranej konfiguracji, realizującą w czasie rzeczywistym funkcję nastawiania przebiegów zgodnie z obowiązującymi wymaganiami bezpieczeństwa. Bezpieczeństwo takich systemów zapewnia odpowiednio dobrana technologia, w tym odpowiednia struktura oprogramowania, realizująca zasadę *fail-safe*. Ze względów bezpieczeństwa stosuje się konfigurację sprzętową umożliwiającą porównywanie wyników, najczęściej „2z2". Odpowiedni poziom bezpieczeństwa można uzyskać przez zastosowanie jednego komputera głównego i tzw. gorącej rezerwy, wprowadzając odpowiednie oprogramowanie (przetwarzanie dwóch różnych programów napisanych przez różne zespoły) [16]. Systemy scentralizowane należą do grupy urządzeń stacyjnych.

Przykładem elektronicznego stacyjnego systemu geograficznego (scentralizowanego) jest system SIMIS-W (*Sicheres Mikrocomputersystem von Siemens für den Weltmarkt*). System ten umożliwia obszarowe sterowanie ruchem pociągów obejmujące stacje Łodygowice, Żywiec i Węgierska Górka (dystans 17 km). System SIMIS-W może pracować w układzie konfiguracji „2z3". Przykładową konfigurację pokazano na rysunku 6 [10].

Poziom zależnościowy realizuje podstawowe funkcje przetwarzania i sterowania. Jednostka CPU zainstalowana w systemie przyjmuje polecenia nastawcze wydawane przez obsługę, następnie przetwarza je i przekazuje dalej do pakietów transmisyjnych. Z pakietów wej./wyj. przetworzone polecenia i meldunki są przekazywane przez dwukanałowe linie transmisji danych do/z urządzeń zewnętrznych, np: zwrotnica, semafor. Dane wejściowe przetwarzane są przez trzy komputery jednocześnie, a następnie są porównywane z wynikami dwóch pozostałych. W wyniku niezgodności danych jednego

z komputerów, zostaje on odłączony, a pozostałe dwa kanały zapewniają prawidłowe funkcjonowanie modułu [23]. Za pomocą SIMIS-W można realizować zarówno małe, jak i duże nastawnice – do 2000 elementów nastawczych.

Do transmisji informacji są stosowane dwa różne systemy magistrali: PROFIBUS (*Process Field Bus*) oraz IL (*Interlocking Bus* – magistrala nastawnicy). W przypadku wystąpienia uszkodzenia komponentu systemu następuje reakcja lokalizacji przez komputer serwisująco-diagnozujący. Do innych komputerowych systemów scentralizowanych eksploatowanych przez PKP PLK można zliczyć EBILOCK 950, ESTW L90-5.



Rys. 6. System SIMIS, konfiguracja 2z3 [10]

3.3 Systemy liniowe

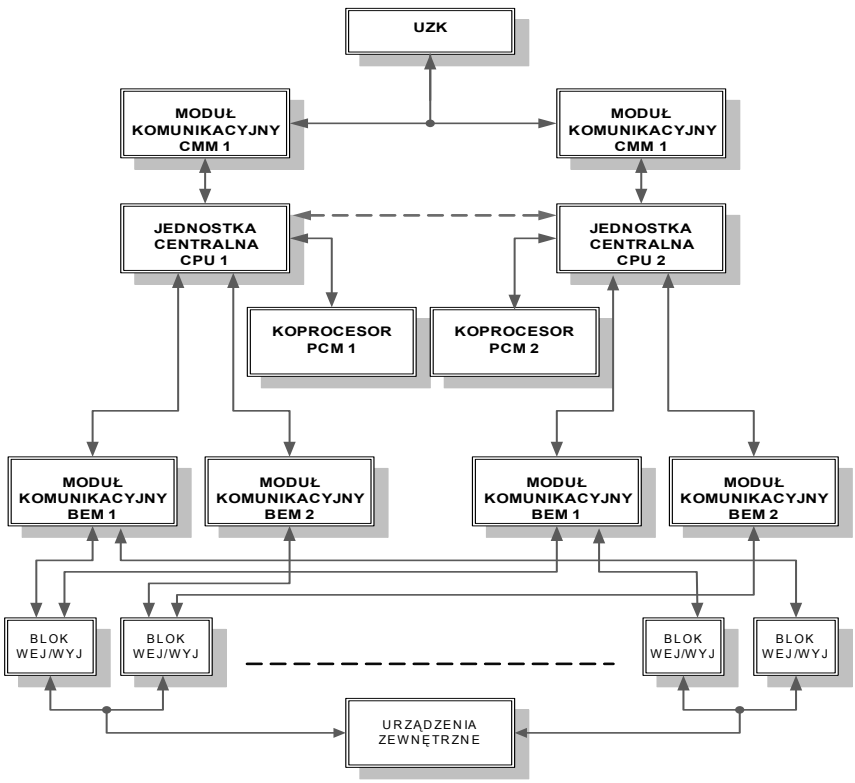
Systemy pracujące na szlakach kolejowych, których zadaniem jest regulacja ruchu pociągów pomiędzy posterunkami nazywa się systemami liniowymi [2]. Przykładem takiego systemu jest samoczynna sygnalizacja przejazdowa typu RASP-4F służąca do zabezpieczenia przejazdów kategorii „B" i „C" oraz dodatkowo przejazdów kategorii „A". Sygnalizacja przejazdowa typu RASP-4F może być stosowana na liniach kolejowych, na których maksymalna prędkość pociągów nie przekracza 160 km/h. Do wykrywania zajętości toru zastosowano nowoczesny układ liczników osi pociągu, wykorzystujący czujniki koła typu RSR-180 (firma Frauscher). W skład systemu wchodzi m.in. kontener główny (RASP-KG), szafy aparatowe (RASP-SA1, RASP-SA2) oraz urządzenie zdalnej kontroli (RASP-UZK).

Samoczynna sygnalizacja przejazdowa RASP-4F jest typem urządzenia, w którym zastosowano rozwiązanie „2z2". W celu spełnienia wymagań bezpieczeństwa systemu RASP-4 zastosowano redundancję urządzeń kontrolno-sterujących wraz z funkcją samotestowania, urządzeń wykonawczych wraz z funkcją samotestowania i urządzeń zasilających.

W kontenerze głównym RASP-KG umieszczono dwa sterowniki PLC firmy GE Fanuc serii 90-30, terminal operatorski DP Model 150 oraz zespół bloków wejścia / wyjścia typu GENIUS IC660EBD020 i IC660EBD021. Dwa niezależnie działające sterowniki zbu-

dowano z dwóch jednostek centralnych IC693CPU350 wraz z dwoma koprocesorami IC693PCM301, czterema modułami komunikacyjnymi typu IC693BEM331, dwoma modułami 8wejść / 8wyjść C693MDR390, dwoma modułami komunikacyjnymi CMM dla łączy szeregowych RS-232/485 typu IC693CMM311 oraz dwoma zasilaczami prądu stałego IC693PWR322.

Aparatura sterująco-kontrolna odbiera i analizuje sygnały pochodzące od urządzeń oddziaływania pociągu oraz steruje urządzeniami zewnętrznymi takimi, jak sygnalizatory drogowe, napędy rogatkowe, czy przejazdowe tarcze ostrzegawcze. Jednostki centralne sterowników CPU1 i CPU2 pracują synchronicznie, wzajemnie sprawdzają swoją obecność oraz prowadzą wzajemną wymianę informacji dotyczącą stanów awarii. Samoczynne działanie urządzeń jest nadzorowane poprzez urządzenie zdalnej kontroli RASP-UZK, którym jest standardowy komputer IBM PC w wykonaniu przemysłowym. RASP-UZK stanowi nadrzędny sterownik, który nadzoruje prace do 8 sygnalizacji przejazdowych. Do zdalnej kontroli z sygnalizatorami zastosowano modemy telekomunikacyjne oparte na standardzie transmisji RS-232 typu PATTON 1040. System RASP-4F może współpracować z różnymi stacyjnymi urządzeniami srk [11]. Schemat współpracy układów sterowania samoczynnej sygnalizacji przejazdowej RASP-4 przedstawiono na rysunku 7.

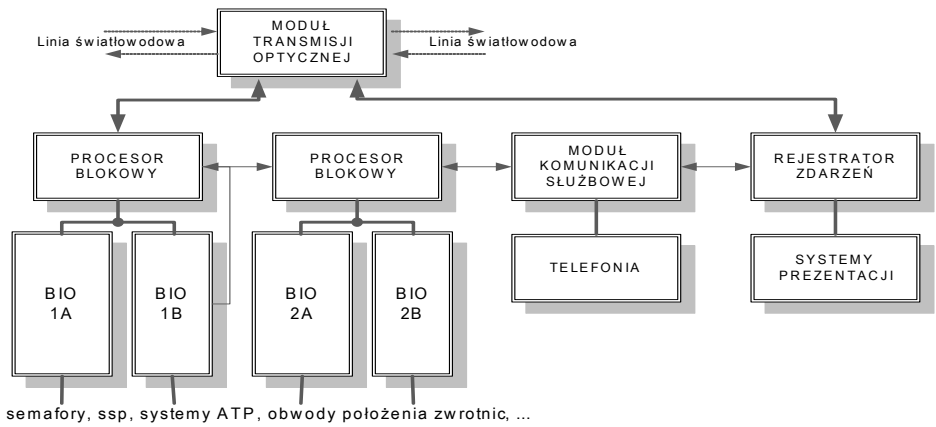


Rys. 7. Schemat współpracy układów sterowania samoczynnej sygnalizacji przejazdowej RASP-4 [11]

Programy dla sterowników zostały napisane w języku C, a do translacji programów zastosowano przemysłową wersję kompilatora C firmy Microsoft wraz z odpowiednią biblioteką dla sterowników serii 90 (firma FANUC). Przykładami komputerowych realizacji systemów ssp są SPA-5 i BUES 2000.

Innym urządzeniem należącym do grupy systemów lokalnych jest samoczynna blokada liniowa. System blokady liniowej jest bardzo ważnym elementem zabezpieczenia ruchu pociągów. Podstawowym zadaniem blokady liniowej jest zabezpieczenie przed możliwością najechania na siebie pociągów. Samoczynna blokada liniowa FELB (***F**ull **E**lectronic **L**ine **B**lock*) jest trzy- lub czterostawną, dwukierunkową blokadą liniową. W tej blokadzie jeden komputer blokowy nadzoruje stan jednego odstępu blokowego. Komputer ten steruje dwoma sygnalizatorami świetlnymi. Blokada FELB składa się z najwyżej 32 komputerów blokowych.

Samoczynna blokada FELB należy do grupy systemów bezpiecznych. Zastosowanie sieci rozproszonej powoduje brak wystąpienia sytuacji niebezpiecznej przy uszkodzeniu jednego komputera. Dodatkowo w systemie na łączach światłowodowych stosuje się telefonię serwisową. W systemie samoczynnej blokady liniowej FELB za pomocą specjalnego oprogramowania, którego struktura ma postać pętli, realizuje się system zależnościowy. Za pomocą informacji zbieranych przez sieci transmisyjne z sąsiednich odstępów blokady, urządzeń przytorowych lub świetlnych, realizowana jest logika bloku. Komputerowa blokada liniowa FELB realizuje wszystkie funkcje i wymagania stawiane klasie systemów, do których należy. Za pomocą odpowiedniego połączenia zewnętrznego, sprzętowo jest zapewniony wybór stawności. Ze względów bezpieczeństwa przyjęto, że brak połączenia ustawia funkcję pracy na samoczynną czterostawną blokadę liniową. Przykładową konfigurację punktu sterowania przedstawia rysunek 8.



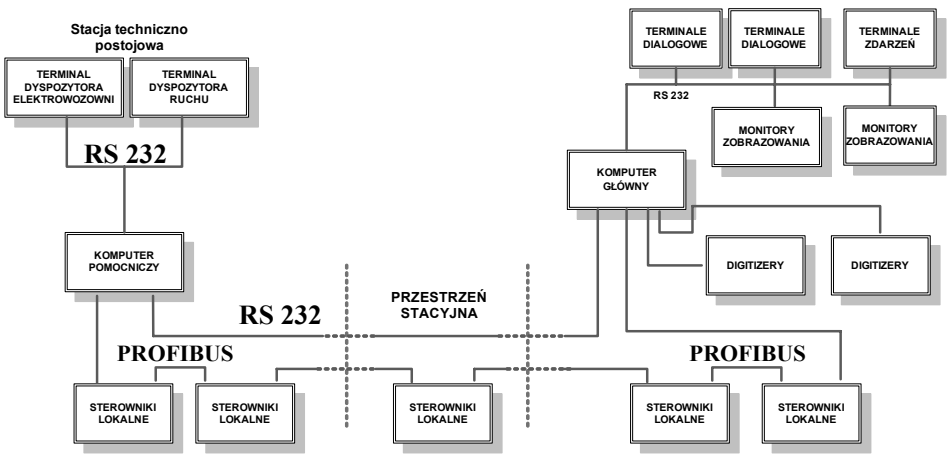
Rys. 8. Przykładowa konfiguracja punktu sterowania występującego w systemie FELB

Na zasadzie rozproszonego systemu komputerowego pracują systemy blokad liniowych SHL-1, SHL-12, ESBL 2000, CBL 2010.

3.4. Systemy zdalnego sterowania

Systemy zdalnego sterowania ruchem kolejowym umożliwiają sterowanie z jednego punktu wszystkimi urządzeniami na stacjach objętych zdalnym sterowaniem. Używa się do tego specjalnych urządzeń zainstalowanych na stacjach oraz urządzeń w centrum sterowania. Urządzenia te zapewniają pełne zobrazowanie sytuacji ruchowej na obszarze objętym zdalnym sterowaniem oraz możliwości sterowania z centrum urządzeniami znajdującymi się na tym obszarze [3].

Przykładem systemu zdalnego sterowania jest system sterowania zainstalowany w warszawskim metrze. Głównym elementem tego systemu jest Centralna Dyspozytornia. W skład centrum wchodzą trzy podstawowe stanowiska dyspozytorskie, które kontrolują ruch pociągów oraz zarządzają innymi urządzeniami (energetycznymi, sanitarnymi, czy mechanicznymi). Centrum Dyspozytorskie zbiera informacje z nadzorowanych urządzeń oraz dokonuje ich analizy. Z centrum sterowania zainstalowanego na stacji Politechnika następuje zdalne sterowanie na całej linii metra. Przejeżdżający pociąg, nadaje swój numer bezprzewodowo do odbiorników zainstalowanych na stropie tunelu w określonych miejscach, który jest przekazywany do centrum sterowania. Jako medium transmisji informacji wykorzystuje się sygnał podczerwieni [2]. Prowadzenie pociągów oraz bezpieczeństwo pasażerów podlega dyspozytorowi ruchu, który dysponuje m.in. komputerowym systemem monitorowania ruchu pociągów, systemem TV przemysłowej, systemem łączności przewodowej i bezprzewodowej. Na rysunku 9 pokazano schemat systemu kontroli w warszawskim metrze. Stanowisko dyspozytora ruchu jest zdublowane.

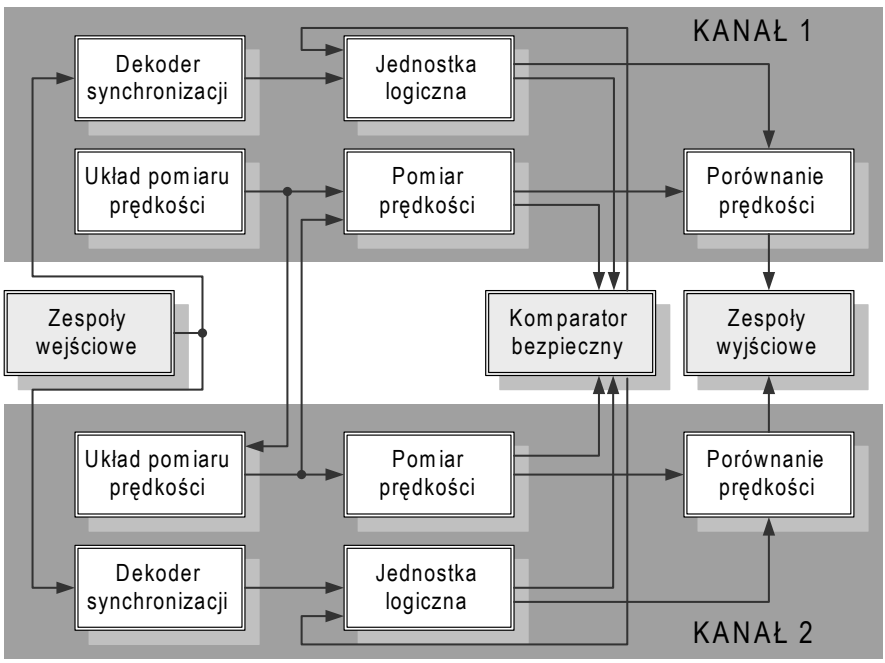


Rys. 9. System kontroli w warszawskim metrze

Innymi systemami zdalnego sterowania pracującymi na kolejach polskich są ILTOR- ZS i MOR-2zs.

3.5. Systemy ATP / ATC

Jednym z urządzeń wspomagających bezpieczne prowadzenie pociągu jest system SOP-2, będący systemem ATP (*Automatic Train Protection*, polska nazwa AOP – automatyczne ograniczanie prędkości). System ten został zainstalowany w warszawskim metrze w celu zapewnienia bezpiecznego prowadzenia pociągów. W tym systemie wysoki poziom bezpieczeństwa uzyskano przez dwukanałowe, niezależne przetwarzanie informacji z bezpieczną komparacją i kontrolą sygnałów w obu kanałach (komparator *fail-safe*). Podstawowym zadaniem systemu jest automatyczne ograniczanie prędkości pociągu. Urządzenia nadawcze w sposób ciągły transmitują do pojazdu informacje o sytuacji ruchowej i wynikającej z niej prędkości dopuszczalnej. W przypadku przekroczenia prędkości dopuszczalnej, układ napędowo-hamujący pojazdu powoduje automatyczne ograniczenie jego prędkości do wartości zapewniającej dalszą bezpieczną jazdę lub zatrzymanie pojazdu przed przeszkodą sygnalizowaną przez urządzenia srp. Transmisja z toru do pojazdu odbywa się za pośrednictwem obwodów przewodowych ułożonych między szynami. System może współpracować z dowolnymi urządzeniami srk. Rysunek 10 przedstawia podstawową strukturę urządzeń odbiorczych systemu SOP-2.



Rys. 10. Podstawowa struktura urządzeń odbiorczych systemu ATP (SOP-2)

3.6. Ocena systemów komputerowych

Przedstawione w rozdziale trzecim systemy stanowią tylko część systemów komputerowych pracujących na kolei. Warto w tym miejscu także wspomnieć o komputerowych systemach zobrazowania, ułatwiających w znacznym stopniu podgląd sytuacji ruchowej na monitorach. Przykładem takiego systemu jest MOR-1.0 zaliczany do grupy urządzeń odpowiedzialnych za monitorowe odwzorowanie obszaru sterowanego.

4. SYSTEMY PRZYSZŁOŚCIOWE WYKORZYSTUJĄCE TRANSMISJĘ OTWARTĄ

Bezpieczna transmisja w systemach sterowania ruchem kolejowym musi spełniać wymagania i zalecenia określone w obowiązujących właściwych normach PN-EN 50159: 2010 [17]. Bezpieczeństwo transmisji jest analizowane na poziomie systemu sterowania jako jego element (norma PN-EN50126) oraz jest istotnie związana ze sprzętem i oprogramowaniem, co uwzględniają obowiązujące dla systemów kolejowych normy PN-EN 50129, PN-EN 50128.

Transmisja informacji musi być przeprowadzona w taki sposób, aby była możliwa jak najszybsza detekcja błędnych informacji, a przerwa w łączu transmisyjnym powinna spowodować przejście systemu do stanu bezpiecznego, zgodnie z procedurą określoną dla rozpatrywanego systemu srk. Stan ten jest definiowany dla poszczególnych typów systemów indywidualnie i tak, np. **stan bezpieczny** w systemach zliczania osi oznacza sygnalizację stanu **odcinek zajęty**, dla sygnalizacji przejazdowej **stan bezpieczny** może oznaczać załączenie ostrzegania o zbliżaniu się pociągu, a w systemach sygnalizacji wymuszenie wyświetlenia na semaforze **sygnału zabraniającego S1**. Dlatego też w celu zapewnienia prawidłowego działania systemu srk należy zastosować odpowiednie środki zabezpieczające przed przekłamaniem lub utratą informacji będących skutkiem zakłóceń, bądź nieświadomej lub celowej (nieuprawnionej) działalności obsługi. W przypadku bezpiecznych systemów transmisji informacje muszą być zabezpieczone dodatkowymi bitami lub zakodowane. Dopuszcza się stosowanie innych środków zabezpieczających, o ile będą one zapewniać wymagany poziom bezpieczeństwa.

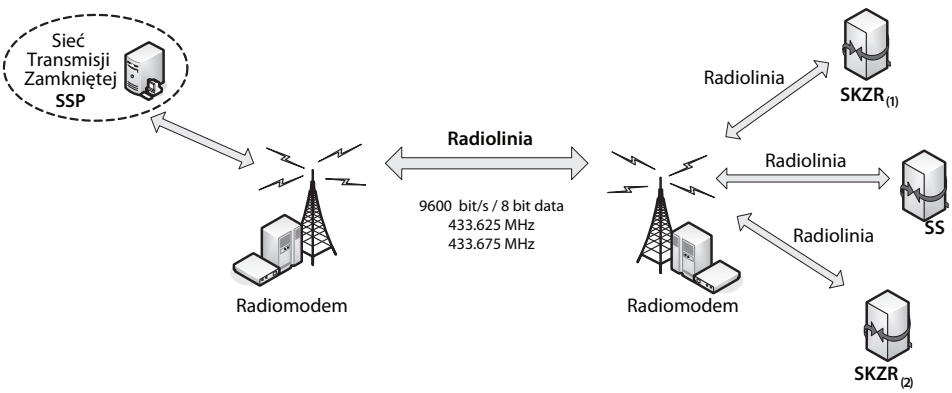
Wprowadzany system transmisji otwartej, wykorzystującej publiczne sieci radiowe, powinien zapewnić dotychczasowy poziom bezpieczeństwa (zgodny z klasyfikacją SIL, wynikający z norm PN-EN 5012x) oraz nie gorszy od poziomu funkcjonalności w istniejących systemach (dotyczy to zwłaszcza opóźnień i przerw w transmisji).

W systemach transmisji otwartej transmisja prowadzona jest z wykorzystaniem sieci radiowej, sieci Internet lub przez inne łącza współdzielone o publicznym dostępie. Oznacza to, że informacje przesyłane są przez system transmisji dostępny dla nieuprawnionych użytkowników, przez co przesyłane dane mogą być narażone na takie ataki, jak

np. usunięcie lub podszycie się nadawców pod urządzenia srk pracujące w sieci. W odniesieniu do systemów srk szczególną uwagę należy położyć na oszacowanie poziomu ryzyka (norma PN-EN 50126). Intensywność uszkodzeń dla ustalonego poziomu SIL określają normy: PN-EN 50126, PN-EN 50128 i PN-EN 50129.

4.1. Koncepcja systemu oparta o kanał radiowy (radiomodemy)

W tej propozycji koncepcji systemu bezpiecznej transmisji, zastosowano kanał radiowy (otwarty system transmisji) do przekazywania informacji w podsystemie urządzeń oddziaływania. Analiza była prowadzona w odniesieniu do systemu zabezpieczenia przejazdu kolejowego. W przyjętym modelu kanał radiowy jest wykorzystywany do przekazywania informacji między sterownikami współpracującymi z czujnikami koła a sterownikami systemu ssp umieszczonymi w kontenerze. Taka konfiguracja pozwala na wyeliminowanie konieczności wykonywania połączeń kablowych od oddalonych od przejazdu punktów oddziaływania (czujników). W tym przypadku przyjęto metodę porównania standardowych parametrów charakteryzujących system ssp oparty na systemie wymiany telegramów siecią w układzie zamkniętym (sieć kablowa) – takie systemy są powszechnie eksploatowane na sieci PKP PLK S.A. – oraz wyznaczenia parametrów dla sieci transmisji w układzie otwartym tak, aby było możliwe stwierdzenie, czy nie został naruszony, obniżony, poziom SIL. W rozpatrywanym przypadku kanał transmisji otwartej został oparty na wydzielonej radiolinii, co zapewnia m.in. kontrolę autoryzacji dostępu. Na rysunku 11 przedstawiono podobne radiolinie do komunikacji ze sterownikami stacyjnymi (SS) i systemem kontroli niezajętości torów.



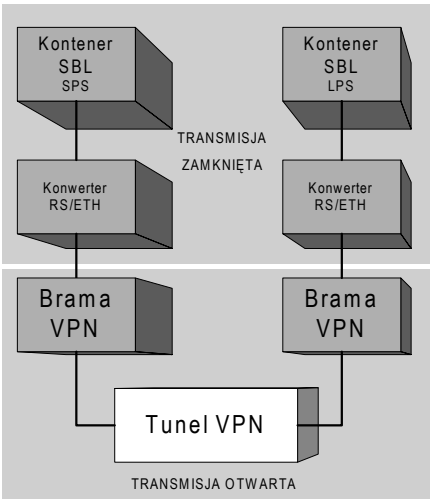
Rys. 11. Przykład łączności radiowej pomiędzy podsystemami

W modelu przyjęto telegramy zgodne z typem transmisji B0 (nie wyklucza się zastosowanie nieautoryzowanego dostępu, wymagane jest szyfrowanie, nie jest wymagany kryptograficzny kod bezpieczeństwa), wykorzystując techniki kryptograficzne z kluczem tajnym oraz szyfrowanie danych w całości łącznie z kodem integralności danych. Jako

algorytm szyfrowania przyjęto standard AES z kluczem 128-bitowym. Do tak zaszyfrowanych danych dołączany jest dodatkowy kod integralności danych CRC, które zabezpieczają przed przypadkowymi błędami, pozwalając, na wykrycie pojedynczych lub seryjnych błędów.

4.2. Analiza akceptowalnego poziomu ryzyka na wybranych systemach transmisji otwartej stosowanych w systemach SRK

Przykładowa analiza była przeprowadzona dla systemu transmisji otwartej, przeznaczonego do zastosowania w systemie srk o rozproszonej logice. Analizy te były prowadzone dla typowej elektronicznej samoczynnej blokady liniowej eksploatowanej na PKP PLK S.A, w której zastosowano sieć otwartą do wymiany informacji (telegramów) pomiędzy poszczególnymi kontenerami sbl. Oznacza to, iż transmisja przewodowa była zastąpiona transmisją za pośrednictwem standardowych bram VPN[1], co schematycznie przedstawiono na rysunku 12.



Rys. 12. Uproszczona struktura transmisji otwartej

Zakładając, że systemy z transmisją zamkniętą (dopuszczone do eksploatacji w UE i w Polsce) spełniają wymagania norm PN-EN 50129, PN-EN 50128, PN-EN 50159 należy uważać, że przyjęte rozwiązania systemów z transmisją otwartą opartą na zaleceniach normy PN-EN 50159 powinny zapewnić analogiczny poziom bezpieczeństwa. W obu przypadkach dla założonych szeregowych struktur niezawodnościowych układów transmisyjnych wykazano, iż zarówno dla transmisji przewodowej, jak i transmisji z wykorzystaniem sieci otwartych, uzyskane wyniki (dla najbardziej niekorzystnych warunków pracy) dają podstawę do zaliczenia podsystemu transmisji do poziomu SIL 4.

[1] *Virtual Private Network*.

4.3. Ocena systemów srk z transmisją otwartą

Dokonane przykładowe analizy i obliczenia potwierdzają wysoki poziom bezpieczeństwa systemów z wymianą danych, wykorzystującą standardy otwartych sieci transmisji. Potwierdzają one właściwy kierunek rozwoju systemów sterowania ruchem kolejowym wykorzystujących bezprzewodową technologię wymiany danych procesowych, które w przypadku problemów z instalacją sieci przewodowej będą mogły ją zastępować. Implementacja systemów bezprzewodowych, szczególnie w systemach zaliczanych do poziomu bezpieczeństwa SIL4, nie zwalnia producentów od przeprowadzenia odpowiednich udokumentowanych badań. Niezbędna, jak w dotychczasowych systemach, staje się odpowiednia analiza bezpieczeństwa. Szczególną uwagę należy zwrócić na odpowiednie metody kryptograficzne, ale również opóźnienia czy przekłamania transmisji.

5. WNIOSKI

W artykule pokazano tendencje rozwojowe systemów srk w ciągu ostatnich 30 lat. Punktem wejściowym było przyjęcie poziomu bezpieczeństwa przekaźnikowych systemów srk. Przedstawione rozwiązania systemów JZH i E były oparte na koncepcji bezpiecznego przekaźnika, którego najbardziej prawdopodobne uszkodzenie nie miało wpływu na bezpieczne wysterowanie urządzeń zewnętrznych.

Omówione powszechnie stosowane systemy komputerowe wykorzystywały nadmiarowość i stosunkowo krótki czas wykrywania usterek. Wynikowym parametrem był *THR* (Tolerowalny Poziom Ryzyka), którego wartości były zdefiniowane w obowiązujących normach (PN EN 50 159).

Kolejnym krokiem było wprowadzenie otwartych standardów transmisji opartych na publicznych sieciach, głównie bezprzewodowych. Badania potwierdzają, że zastosowanie typowych standardów komunikacji bezprzewodowego dostępu do Internetu przy zastosowaniu odpowiednich procedur, a zwłaszcza metod kryptograficznych, pozwala zapewnić ten sam poziom bezpieczeństwa, co w przypadku dotychczas stosowanych transmisji kablowych w rozproszonych systemach komputerowych. Generalnie począwszy, od systemów przekaźnikowych, po przyszłe realizacje oparte na transmisji otwartej, stosowana jest ta sama zasada *fail-safe*: każde pojedyncze uszkodzenie nie może prowadzić do sytuacji niebezpiecznej. W systemach komputerowych jest wyznaczany dodatkowo czas detekcji usterki. W systemach opartych na sieciach publicznych dodatkowo analizuje się minimalizację czasu opóźnień (spowodowanych np. zanikiem lub przekłamaniem transmisji i związaną z tym koniecznością powtórzeń itp.). Pozwoliło to zapewnić identyczny poziom funkcjonalności co w realizowanych dotychczas systemach, tych komputerowych, jak i przekaźnikowych.

BIBLIOGRAFIA

1. *Album schematów – zbiór przykładowych rozwiązań – geograficzny system stacyjnych przekaźnikowych urządzeń srk typu CBP83*, 1985.
2. Dąbrowa – Bajon M.: *Podstawy sterowania ruchem kolejowym*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2002.
3. Dyduch J., Kornaszewski M.: *Systemy sterowania ruchem kolejowym*. Radom, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, 2003.
4. *Geograficzny, zblokowany system urządzeń stacyjnych zrk typu JZH 111 – dokumentacja techniczna*. Katowice, 1977.
5. *Instrukcja konserwacji, przeglądów oraz napraw bieżących urządzeń sterowania ruchem kolejowym Ie-12* (E-24) PKP PLK S.A. Warszawa, 2005.
6. Karaś S.: *Urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego*. Wyd. 3. Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1986.
7. Lewiński A., Perzyński T.: *Akceptowalny poziom ryzyka jako kryterium bezpieczeństwa w transporcie kolejowym.* Prace konferencji Wydziału Transportu Politechniki Radomskiej Logi-Trans, 2007.
8. Lewiński A.: *Problemy oprogramowania bezpiecznych systemów komputerowych w zastosowaniach transportu kolejowego.* Radom, Politechnika Radomska, Monografia nr 49/2001,
9. Materiały firmy Kontron East Europe sp. z o.o.
10. Materiały firmy Siemens.
11. Materiały Zakładu Automatyki KOMBUD S.A. w Radomiu.
12. Mickiewicz T., Mikulski A.: *Elektryczne urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego – urządzenia stacyjne.* Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1968.
13. Miksza E.: *Zblokowany system sterowania ruchem kolejowym na stacjach typu JZH 111*. Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1979.
14. Norma PN-EN 50126:2002 (U). *Zastosowania kolejowe. Specyfikowanie i wykazywanie Nieuszkadzalności, Gotowości, Obsługiwalności i Bezpieczeństwa (RAMS)*. Część 1: *Wymagania podstawowe i procesy ogólnego przeznaczenia*.
15. Norma PN-EN 50128:2002 (U). *Zastosowania kolejowe. Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania. Oprogramowanie dla kolejowych systemów sterowania i zabezpieczenia*.
16. Norma PN-EN 50129:2007. *Zastosowania kolejowe. Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania ruchem. Elektroniczne systemy sygnalizacji związane z bezpieczeństwem*.
17. Norma PN-EN 50159: 2010. *Zastosowania kolejowe. Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania*.
18. Norma PN-EN 60812:2009. *Techniki analizy nieuszkadzalności systemów. Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń (FMEA).*
19. Norma PN-EN 61025:2007. *Analiza drzewa niezdatności (FTA).*

20. Norma PN-EN 61078:2006. *Techniki analizy niezawodności – Metoda schematów blokowych niezawodności oraz metody boolowskie*.
21. Norma PN-IEC 60300-3-9:1999. *Analiza ryzyka w systemach technicznych*.
22. Perzyński T.: *Problemy bezpieczeństwa sieci komputerowych stosowanych w sterowaniu ruchem kolejowym*. Rozprawa doktorska. Radom, Wydział Transportu i Elektrotechniki Politechniki Radomskiej, 2009.
23. *Sterowanie Ruchem Kolejowym (SIMIS-W)*. Materiały seminaryjne firmy Siemens. „Technika Transportowa", Zakopane, 2000.
24. *Wpływ nowych technologii informacyjnych na poprawę funkcjonalności i bezpieczeństwa ruchu pociągów*. Grant MNiSW, nr 4T12C00529. Radom, Politechnika Radomska, 2006.
25. *Wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym – DG PKP KA* nr KA2b-5400-01/98 z dnia 06.02.1998.
26. Wytyczne techniczne budowy urządzeń sterowania ruchem kolejowym w przedsiębiorstwie PKP WTB-E10, stanowiące załącznik do zarządzenia nr 43 Zarządu PKP z dnia 09.09.1996 r. (z późniejszymi zmianami).